

---

---

Година XII

Број 14.

Децембар 2005.

---

---

# ПОДЗЕМНИ РАДОВИ

Underground Mining Engineering



---

---

Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду

---

---



# ПОДЗЕМНИ РАДОВИ

Главни и одговорни уредник

Проф. др Слободан Трајковић, Рударско-геолошки факултет, Београд

Редакцијски одбор

Проф. др Милош Грујић, Рударско-геолошки факултет, Београд  
Проф. др Борислав Зајић, Рударско-геолошки факултет, Београд  
Проф. др Никола Лилић Рударско-геолошки факултет, Београд  
Проф. др Славко Торбица, Рударско-геолошки факултет, Београд  
Проф. др Душан Гагић, Рударско-геолошки факултет, Београд  
Проф. др Слободан Трајковић, Рударско-геолошки факултет, Београд  
Проф. др Небојша Гојковић Рударско-геолошки факултет, Београд  
Асист. мр Раде Токалић, Рударско-геолошки факултет, Београд  
Prof. dr Buličov Nikolaj Spiridonovič - Politehnički institut – Tula, Rusija  
Доц. КТХ Венцислав Иванов – Минно-геолошки Университет, Софија, Бугарска  
Prof. dr hab. inž. Adam Klich – University of Mining and Metallurgy, Krakow, Poljska  
Senior Lecturer dr Lindsay Wade, University of Leeds – Department of Mining and Mineral Engineering England.

Издавачки савет

Проф. др Милош Грујић; проф. др Борислав Зајић; проф. др Никола Лилић; проф. др Славко Торбица; проф. др Душан Гагић; проф. др Слободан Трајковић; проф. др Небојша Гојковић; асист. мр Раде Токалић; др Дејан Богдановић, Институт за бакар Бор; мр Владимир Настић, Рудник олова и цинка "Рудник"–Рудник; мр Златко Драгосављевић, Рембас – Ресавица; инж. Милош Килибарда, Рудници боксита Никшић; инж. Јово Ђурковић, Рудници магнезита "Шумадија" – Чачак; инж. Младен Поповић, Институт за бакар Бор; инж. Саша Огњановић, Рудник угља "Јасеновац"-Крепољин; инж. Слободан Михајловић, Пројметал – Београд; инж. Дејан Поповић, Рембас – Ресавица; мр Небојша Илић, МРИЕ РС – Београд; инж. Менсуд Турковић, Рудник угља "Штавал"–Сјеница; инж. Милинко Кошанин, Ибарски рудници угља–Бањевац; инж. Ранко Радоја, Рудник угља "Соко"–Соко Бања; инж. Саша Митић, Рударски институт – Земун;

Часопис је штампан уз финансијску помоћ Министарства за науку, технологију и развој владе Републике Србије и Рударско-геолошког факултета

Технички уредник: Асистент мр Раде Токалић, РГФ, Београд

Преводи: Проф. Лидија Митић

Издавач: Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду

За издавача: Проф. др Михаило Миливојевић

Штампа: Удружење психолога Србије  
Припремљено за штампу: 2005.год.

Тираж: 250 примерака

® Сва права задржава издавач  
© Прештампавање или умножавање је забрањено



Прегледни рад

## ПРИМЕНА КОМБИНОВАНИХ РОТАЦИОНО-ПРОБОЈНИХ МАШИНА У РУДАРСТВУ

Донева Николинка,<sup>1</sup> Десподов Зоран,<sup>1</sup> Стојчева Валентина<sup>1</sup>

### ИЗВОД

У овом раду су презентоване комбиноване ротационо-пробојне машине, као и могућности и ограничења њихове примене у рударству. Такође су приказана нека светска искуства о примени комбинованих ротационо-пробојних машина у рударству.

**Кључне речи:** комбиноване ротационо-пробојне машине, рударство

### 1. УВОД

Приликом разраде рудника са подземном експлоатацијом понекад се постављају одређена временска ограничења са аспекта израде капиталних ходника, који ће служити као главни транспортни и вентилациони објекти, чиме би се омогућио бржи прилаз до рудног тела и његово откопавање. Због ове чињенице јавља се неопходност примене ротационо-пробојних машина, као машина са већом брзином напредовања у односу на брзине које се постижу са бушачко-минерским радовима и као машине које немају ограничења у односу на карактеристике радне средине.

### 2. КОМБИНОВАНЕ РОТАЦИОНО-ПРОБОЈНЕ МАШИНЕ

Реч "комбиноване" значи да су то машине које су тако конструисане да могу извршавати две или више операција. Основна операција код ових машина представља механичко разарање (најчешће глодање) и то "пуним профилем" објекта који се израђује. Појам "пуни профил" подразумева пробијање целог профила објекта једним захватом машине. Друга значајна операција је захватање и одстрањивање откопаног материјала. Остале радне операције зависе од типа машине и њеног конструктивног решења.

Ове машине у пракси су познате као tunnel boring machines, т.ј. ТВМ -машине. Овај се тип машина најчешће може применити:

- у тунелоградњи, независно од тога о каквом тунелу је реч, путнички или железнички;
- приликом израде хоризонталних рударских просторија - ходника.

<sup>1</sup> РГФ - Штип, Република Македонија



Треба напоменути и ограничења која се јављају приликом њихове примене:

- ротационо-пробојне машине се користе при изради правих траса или траса са благим кривинама (ово ограничење је резултат велике дужине машине);
- економска исплативост примене ових машина је за трасе дуже од 1km;
- почетна дужина објекта, око 100m уобичајено се израђује са неком другом методом (зависно од карактеристике радне средине: са ротационо-лучним машинама или бушачко-минерским радовима).

Ротационо-пробојне машине уобичајено се конструишу строго наменски. Какво ће бити њихово конструктивно решење зависи пре свега од тога у каквој ће средини машина радити. До сада је конструисано много различитих типова машина, чије техничке перформансе одговарају одређеној радној средини. Међутим, трасе рударско-инжењерских објекта пролазе кроз неколико различитих средина, као и кроз раседне зоне, тако да конструкција машине мора обезбедити непрекидно пробијање кроз све радне средине на траси објекта. Да би машина могла радити на неком другом објекту, неопходна је њена реконструкција и прилагођивање новим условима рада. Изазов за инжењере је конструисање универзалне ротационо-пробојне машине (машина која би могла радити у свакој радној средини), али то се до сада није десило и вероватно и неће у блиској будућности.

У глобалу може се рећи да овај тип машина, зависно од њихове конструктивне израде, може радити у различним радним условима, као на пример: у условима велике оводњености, у распуцалим, глиновито-песковитим, чврстим, као и чврстим и абразивним стенским формацијама. Практично, велики низ комбинација радних средина и осталих услова који се могу јавити приликом пробијања рудаско-инжињерских објекта ствара огромну разлику у погледу типова и перформанси код конструисања ротационо-пробојних машина.

Најпознатији светски произвођачи ротационо-пробојних машина су: Robbins (SAD), Wirth group - NFM technology (Немачка и Француска), Herrenknecht (Немачка), Akkerman (SAD) и др. Све ове компаније имају своје подружнице у великом броју земаља у свету.

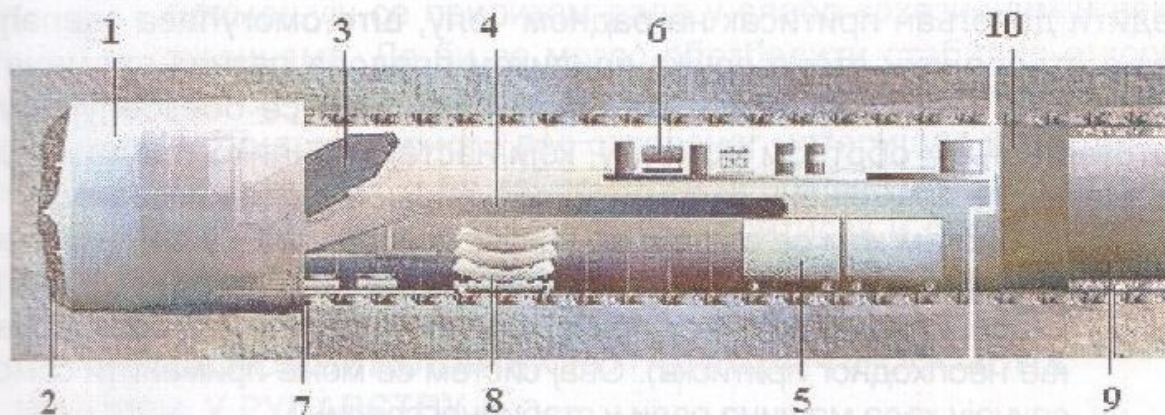
## 2.1. Конструкциона решења

У глобалу ротационо-пробојне машине (сл.2.1.) се састоје од неколико конструктивних целина и то:

- радни орган;
- систем за изношење откопаног материјала;



- метални прстен - штит;
- систем за отпрашивање;
- систем за уравнотежење подземног притиска;
- систем за ињектирање итд.



Сл. 2.1. Ротационо-пробојна машина: 1-ротациона резна глава са штитом; 2-пена која учвршћује и стабилизује откопно чело; 3-пужни транспортер; 4-тракасти транспортер; 5-вагонети; 6-систем за припрему смесе за запуњавање; 7-смеса која испуњава простор између бетонских сегмената и ископног профила; 8-бетонски сегменти; 9-завршна бетонска облога; 10-водена завеса.

Радни орган ротационо-пробојних машина је ротациона резна глава (catter head), чији је пречник исти са пречником ископног профила. Резна глава ротира око своје осе и на њој могу бити постављени различити типови елемената за сечење (сл. 2.2.), у зависности од типа средине у којој машина треба да ради.



Двојни диск



Цилиндрични диск



Диск са брадавицама



Конусни диск



Ножеви у форми зуба



Ножеви у форми стругача

Сл. 2.2. Типови резних елемената



На резној глави се могу распоредити резни елементи једног типа или комбинација више типова елемената у зависности од карактеристика радне средине.

Да би се омогућио непрекидни рад машине потребно је обезбедити довољан притисак на радном челу, што омогућава савлађивање отпора који стена пружа приликом продора резних елемената и довољну стабилност машине током рада, која се обезбеђује супротстављањем обртном моменту, који настаје приликом рада машине. Најчешће примењени системи за подупирање и стабилизацију су:

1. Систем који се састоји од папуче које се упире у већ израђени део објекта (помоћу овога се обезбеђује стабилност машине) и хидроцилиндара који су причвршћени на папуче (за обезбеђивање неопходног притиска). Овај систем се може применити само у случају када машина ради у стабилној средини.
2. Систем који се састоји од хидрауличних преса, које су равномерно распоређене на спољашњем венцу, на задњем делу машине и подупиру се на већ постављену сталну или привремену подграду. На овај начин се обезбеђује и потребан притисак на радном челу и стабилност машине. Овај систем се може применити и када машина ради у слабом, распуцаном и неvezаном материјалу.

На ротационој глави постоје специјални отвори који служе за пролаз откопаног материјала. Са ових отвора материјал пада у комору за екстракцију, а одатле иде на транспортни систем. Транспортни систем може бити пужни или тракасти транспортер. Како ће се даље одвијати транспорт ископаног материјала зависи од пројектног решења, и то, може се продужити тракастим транспортером или шинским транспортом (сл. 2.1.).

У зависности од типа машине она може бити са штитом (јединични или двојни) или да буде без штита. Штит представља метални заштитни прстен са дебљином од око 5÷120mm и има двојну улогу, да штити машину од изненадног зарушавања и да привремено држи откопани простор. Историјски гледано немеханизовани штитови (без ископа) су претходница ротационо-пробојних машина. У зависности од услова рада, иза штита се може вршити подграђивање, ако се ради у релативно стабилнијој средини, или, уколико се ради у слабодржећој средини, потребно је бетонске сегменте постављати у самом штиту, а када се машина помери напред, простор између бетонских сегмената и ископа запуњује се ињектирањем бентонитом или цементном кашом (сл. 2.1)

Независно од тога који ће се резни елементи користити, приликом разарања стенског материјала долази до стварања прашине. Због тога саставни део овог типа машине је и систем за отпраши-



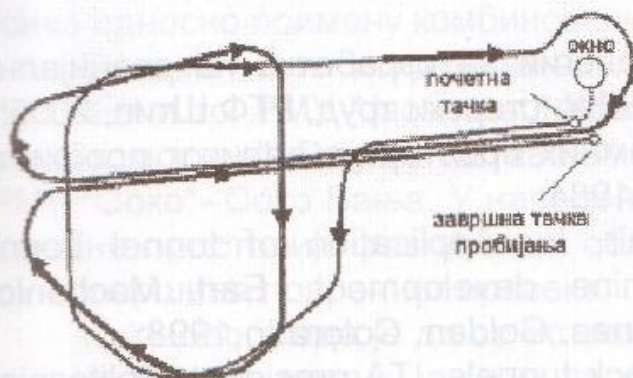
вање, који третира прашину водом распршеном на микронску величину капи помоћу специјалних млазница.

У пракси машине код којих је уграђен систем за уравнотежење подземног притиска познати су као ЕРВ штитови (Earth Pressure Balance) и примењују се приликом рада у слабо кохезионим и некохезионим срединама. Да би се могло обезбедити стабилно откопно чело и да би се правилно одговорило променљивом подземном притиску, овај систем користи део откопаног материјала и третира га специјалним адитивом, и на тај начин га прерађује у меко тло. Овако створена суспензија ствара потребни притисак и обезбеђује стабилнији рад машине.

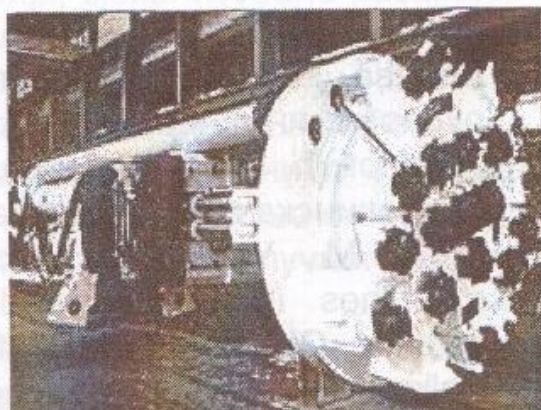
### 3. ПРИМЕНА КОМБИНОВАНИХ РОТАЦИОНО-ПРОБОЈНИХ МАШИНА У РУДАРСТВУ

Као што је већ било напоменуто ротационо-пробојне машине могу се применити и у рударству за израду ходника, као машине са већом брзином напредовања у поређењу са брзинама које се могу постићи методом бушачко-минерских радова и као машине које немају ограничења у односу на карактеристике радне средине, као што је случај са ротационо-лучним машинама.

Пример примене комбиновано ротационо-пробојне машине у рударству је пројекат реализован у руднику бакра, лоциран 11km западно од San Manuel, Аризона. Ради бржег отварања новог рудног тела, било је неопходно изградити два ходника на различитим нивоима (сл.3.1.), са дужином од 12000m. За ову намену коришћена је ротационо-пробојна машина, конструисана од фирме ROBBINS, са откопним пречником 4,62m. На резној глави распоређена су 33 сечива у облику диска, са пречником 432mm. Инсталисана снага резне главе је 1259kW, а променљива обртна брзина креће се од 4 до 120/min. Машина има минимални радијус окретања 105m, а укупна тежина је 225t (сл. 3.2.).



Sl. 3.1. Траса транспортног ходника



Sl. 3.2. Ротационо-пробојна машина San Manuel ROBBINS



Радна средина кроз коју пролази траса ових рударских прос-  
торија, био је кварцмонцитом, чија је једнооксијална притисна  
чврстоћа од 150÷180МПа, и који је више пута пресецао рудним те-  
лом, затим дацит, андензит, глина, као и распуцале стене захваћене  
хидротермалном метаморфозом.

Приликом рада дошло је до извесних проблема, као на пр.  
лепљење глине на резну главу и тешкоћа приликом одржавања ро-  
тације резне главе у меким и распуцалим стенама. Да би се избегле  
ове потешкоће урађене су неке измене:

- повећано је растојање између два резна елемената; на овај  
се начин повећава простор за пријем и одстрањивање отко-  
паног материјала;
- ротациона брзина резне главе смањена је од 12 на 9,30/min,  
што је омогућило повећање обртног момента за 29% и обе-  
збеђење непрекидног рада у слабој и распуцалој средини;
- урађене су и промене у подршци и заштити машине, ради  
обезбеђења стабилнијег рада машине.

После овако изведене промене машина је остварила средње  
месечно напредовање од 678m.

## ЗАКЉУЧАК

Из напред изнетих података о ротационо-пробојним маши-  
нама, као и о њиховој примени у рударству, може се закључити да  
ротационо-пробојне машине треба примењивати и у рударству, при-  
ликом израде капиталних ходника, јер се тиме скраћује време изра-  
де тог објекта.

Као што је већ речено то су машине са много већом брзином  
напредовања и машине које немају ограничења у погледу типа рад-  
не средине.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Донева, Н., Современи технологији за изработка на специјални  
рударско-инженерски објекти, Магистерски труд, РГФ Штип, 2005;
2. Јовановић, П., Израда подземних просторија великог профила,  
Грађевинска књига, Београд, 1984;
3. Cigla, M., Yagis, S., Ozdemir, L.: Application of tunnel boring  
machines in underground mine development, Eart Mechanics  
Institute, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 1998;
4. Pelizza, S.: TBM borred long rock tunnels, ITA president, Politecnico  
di Torino, 1998;